

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2003-110178

(43)Date of publication of application : 11.04.2003

(51)Int.Cl.

H01S 3/23  
G02F 1/35  
H01S 3/06  
H01S 3/10  
H01S 3/30  
H04B 10/16  
H04B 10/17

(21)Application number : 2002-030342

(71)Applicant : NIPPON TELEGR & TELEPH CORP  
<NTT>

(22)Date of filing : 07.02.2002

(72)Inventor : MASUDA KOJI  
MORI ATSUSHI  
ONO HIROTAKE  
AOZASA SHINICHI  
SHIMIZU MAKOTO

(30)Priority

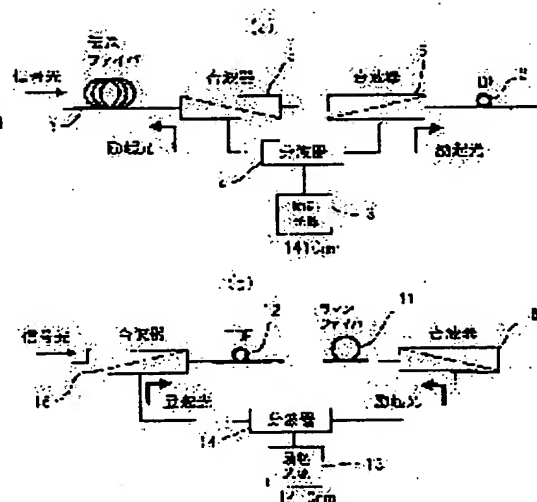
Priority number : 2001227285 Priority date : 27.07.2001 Priority country : JP

## (54) OPTICAL FIBER AMPLIFIER

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an optical fiber amplifier which requires only one excitation light source.

SOLUTION: The optical fiber amplifier comprises a transmission fiber 1 which is a gain medium for distribution Raman amplification, thulium-added fiber 2, one-wavelength excitation light source 3, wave divider which divides the excitation light from the excitation light source 3, and wave combiners 5 and 6 for combining signal light and the excitation light output from the wave divider. Due to this structure, only one excitation light source 3 is required.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

10.02.2004

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than  
the examiner's decision of rejection or  
application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of  
rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2003-110178

(P2003-110178A)

(43) 公開日 平成15年4月11日 (2003.4.11)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テ-マコ-ト* (参考)
H 0 1 S 3/23		H 0 1 S 3/23	2 K 0 0 2
G 0 2 F 1/35	5 0 1	G 0 2 F 1/35	5 0 1 5 F 0 7 2
H 0 1 S 3/06		H 0 1 S 3/06	B 5 K 0 0 2
3/10		3/10	Z
3/30		3/30	Z

審査請求 未請求 請求項の数13 O L (全 12 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2002-30342(P2002-30342)  
(22) 出願日 平成14年2月7日(2002.2.7)  
(31) 優先権主張番号 特願2001-227285(P2001-227285)  
(32) 優先日 平成13年7月27日(2001.7.27)  
(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000004226  
日本電信電話株式会社  
東京都千代田区大手町二丁目3番1号  
(72) 発明者 増田 浩次  
東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日  
本電信電話株式会社  
(72) 発明者 森 淳  
東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日  
本電信電話株式会社  
(74) 代理人 100078499  
弁理士 光石 俊郎 (外2名)

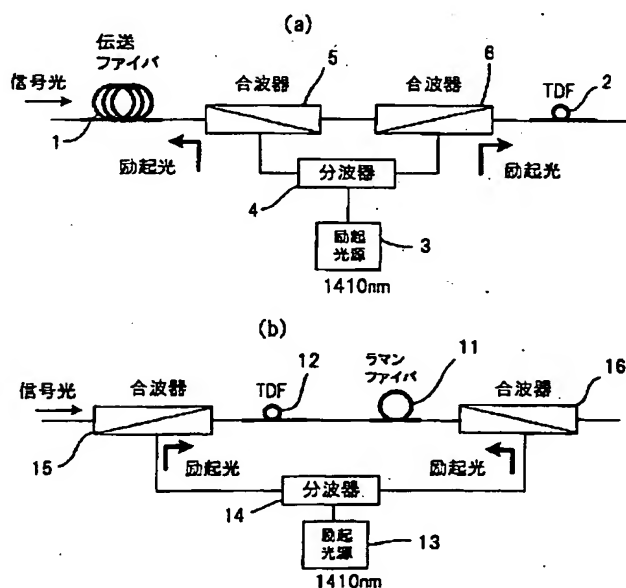
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光ファイバ増幅器

(57) 【要約】

【課題】 励起光源が一つで済む光ファイバ増幅器を提供する。

【解決手段】 分布ラマン増幅の利得媒質である伝送ファイバ1と、トリウム添加ファイバ2と、1波長の励起光源3と、この励起光源3からの励起光を分波する分波器4と、信号光と前記分波器4から出力した励起光とを合波する合波器5、6とで構成することにより、励起光源3を一個にした。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 ツリウム添加ファイバと、分布ラマン増幅の利得媒質である敷設伝送ファイバと、1波長の励起光源と、この励起光源からの励起光を分波する分波器と、信号光と前記分波器から出力した励起光とを合波する合波器とを有することを特徴とする光ファイバ増幅器。

【請求項2】 ツリウム添加ファイバと、集中ラマン増幅の利得媒質であるラマンファイバと、1波長の励起光源と、この励起光源からの励起光を分波する分波器と、信号光と前記分波器から出力した励起光とを合波する合波器とを有することを特徴とする光ファイバ増幅器。

【請求項3】 ツリウム添加ファイバと、分布ラマン増幅の利得媒質である敷設伝送ファイバと、1波長の励起光源と、この励起光源からの励起光を信号光と合波し、前記ツリウム添加ファイバに入射させる合波器と、前記ツリウム添加ファイバから出射した励起光を信号光と分波する分波器と、この分波器から出射した励起光を、前記敷設伝送ファイバに入射させ、信号光と合波する合波器とを有することを特徴とする光ファイバ増幅器。

【請求項4】 ツリウム添加ファイバと、集中ラマン増幅の利得媒質であるラマンファイバと、1波長の励起光源と、この励起光源からの励起光を信号光と合波し、前記ツリウム添加ファイバに入射させる合波器と、前記ツリウム添加ファイバから出射した励起光を信号光と分波する分波器と、この分波器から出射した励起光を、前記ラマンファイバに入射させ、信号光と合波する合波器とを有することを特徴とする光ファイバ増幅器。

【請求項5】 ツリウム添加ファイバと、集中ラマン増幅の利得媒質であるラマンファイバと、1波長の励起光源と、この励起光源からの励起光を信号光と合波し、前記ラマンファイバに入射させる合波器と、前記ラマンファイバから出射した励起光を信号光と分波する分波器と、この分波器から出射した励起光を、前記ツリウム添加ファイバに入射させ、信号光と合波する合波器とを有することを特徴とする光ファイバ増幅器。

【請求項6】 ツリウム添加ファイバ、又は集中ラマン増幅の利得媒質であるラマンファイバと、分布ラマン増幅の利得媒質である敷設伝送ファイバと、この敷設伝送ファイバを励起する励起光波長が1375nm未満の励起光源と、同じく励起光波長が1405nmより大きい励起光源とを有することを特徴とする光ファイバ増幅器。

【請求項7】 分布ラマン増幅の利得媒質である敷設伝送ファイバと、集中ラマン増幅の利得媒質であるラマンファイバと、このラマンファイバを励起する励起光波長が1375nm未満の励起光源と、同じく励起光波長が1405nmより大きい励起光源とを有することを特徴とする光ファイバ増幅器。

【請求項8】 分布ラマン増幅の利得媒質である分散シ

フトファイバからなる敷設伝送ファイバと、信号光と励起光との合波器と、

信号光の分波器に接続されたツリウム添加ファイバ増幅器と、

このツリウム添加ファイバ増幅器に並列に前記分波器に接続されたエルビウム添加ファイバ増幅器又はラマン増幅器と、

一方の励起光の波長が1350～1430nm、他方の励起光の波長が1430～1480nmである前記敷設伝送ファイバを励起する2つの励起光源とを有することを特徴とする光ファイバ増幅器。

【請求項9】 【請求項1】乃至【請求項5】の何れか一つに記載する光ファイバ増幅器において、前記励起光の波長が1340～1460nmであることを特徴とする光ファイバ増幅器。

【請求項10】 前段に設置した第1のラマンファイバと、後段に設置した第2のラマンファイバと、中間段に設置したツリウム添加ファイバと、前記第1のラマンファイバを励起する波長が1420～1460nmの第1の励起光源と、前記第2のラマンファイバを励起する波長が1420～1460nmの第2の励起光源と、前記ツリウム添加ファイバを励起する第3の励起光源を有することを特徴とする光ファイバ増幅器。

【請求項11】 前記第1のラマンファイバを励起する、励起光波長が1340～1500nmの第4の励起光源と、前記第2のラマンファイバを励起する、励起光波長が1340～1500nmの第5の励起光源、の少なくとも1つを有することを特徴とする【請求項10】に記載の光ファイバ増幅器。

【請求項12】 前記第4の励起光源から出射した励起光を、前記第1のラマンファイバに導くための信号光と励起光の合波器を、前記第1のラマンファイバの前段に設置したことを特徴とする【請求項11】に記載の光ファイバ増幅器。

【請求項13】 前段に設置した分布ラマン増幅の利得媒質としての敷設伝送ファイバと、後段に設置した第2のラマンファイバと、中間段に設置したツリウム添加ファイバと、前記敷設伝送ファイバを励起する、波長が1420～1460nmの第1の励起光源と、前記ラマンファイバを励起する、波長が1420～1460nmの第2の励起光源と、前記ツリウム添加ファイバを励起する第3の励起光源を有することを特徴とする光ファイバ増幅器。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は光ファイバ増幅器に関し、特に光ファイバを用いて通信を行う光ファイバ通信システムに適用して有用なものである。

## 【0002】

【従来の技術】従来技術に係る光ファイバ増幅器を図1

3 (a) 乃至図 13 (c) に示す。これらの図に示す光ファイバ増幅器は、何れもトリウム (Tm) 添加光ファイバ増幅器 (TDFA) とファイバラマン増幅器 (略してラマン増幅器、FRA) を信号光の伝搬に関して直列接続した構成を有する。ただし、図 13 (a) に示す構成 (参考文献 [1] K.Fukuchi et al., OFC, PD24, 2001) は、分布増幅型ラマン増幅器を、図 13 (c) に示す構成 (参考文献 [2] J.Masum-Thomas et al., OFC, WDD9, 2001) は、集中増幅型ラマン増幅器を用いている。また、図 13 (b) に示す構成 (参考文献 [3] J.Bromage et al., OFC, PD4, 2001) は、分布増幅型ラマン増幅器と集中増幅型ラマン増幅器を直列接続した構成を有する。

【0003】 TDFA の利得媒質はトリウム添加ファイバ (TDF)、また FRA の利得媒質はシリカファイバである。ただし、シリカファイバは FRA が分布増幅型の場合には、伝送線路である伝送ファイバであり、また FRA が集中増幅型の場合には、ボビン等に巻取って收容するなどしたファイバ (ラマンファイバ) である。図 13 において、励起光源の付帯記号は、TDFA および集中増幅型 FRA に対するものを L で、分布増幅型 FRA に関するものを D で表し、励起光源-L1、などのように表記している。

【0004】 さらに、従来技術に係る光ファイバ増幅器の他の構成 (参考文献 [1]) を図 14 (a) 及び図 14 (b) に示す。本構成は、図 13 (a) に示すものに類似しているが、集中増幅部分の構成が異なる。本構成の集中増幅部分は、TDFA と EDFA を並列配置した構成を有する。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】 上述の従来技術では、次のような問題が生じている。図 13 (a) に示す第 1 構成に係る光ファイバ増幅器では、TDF の励起波長は、1420 nm および 1560 nm である。このとき、TDFA の利得スペクトルは図 15 に示したようになっており、TDFA の利得は、1480 から 1510 nm の S 帯と呼ばれる波長域にある。この種の光ファイバ増幅器の利得スペクトルは、図 15 (a) に示したように、分布ラマン利得スペクトルと TDFA 利得スペクトルから決まる。したがって、本構成では、利得波長域が制限されており狭いという欠点が生じている。また、励起光源が波長に応じて 2 つ必要であるという欠点が生じている。

【0006】 さらに、前記第 1 構成に係る光ファイバ増幅器の伝送ファイバの励起波長は 1380 nm および 1400 nm である。伝送ファイバなどのシリカファイバの損失スペクトルの例を図 16 に示す。これはシリカファイバが 80 km の伝送ファイバのときの 1 例である。同図に示したように、当該シリカファイバは、1380 乃至 1390 nm 付近にシリカファイバ中の OH 基に起

因する損失スペクトルのピークが存在する。シリカファイバの損失スペクトルはシリカファイバの種類 (伝送ファイバ、ラマンファイバなどの種類) によって若干異なり、特に前記 OH 基起因の損失スペクトルピーク値は、シリカファイバの種類により大きくかわる。しかしながら、多くの敷設済みの伝送ファイバ (1.3  $\mu$ m 単一モードファイバや 1.5  $\mu$ m 分散シフトファイバ) では、前記損失スペクトルピーク値が大きく、それに影響されて、そのピーク波長近傍の損失値が増大している。そのピーク波長近傍域はおよそ 1375 ~ 1405 nm である。したがって、第 1 の構成に係る光ファイバ増幅器において、励起光波長はピーク波長近傍域に設定されている。そのため、励起光の損失が大きく、励起効率が低下するという欠点が生じている。このことは、前記第 4 構成に係る光ファイバ増幅器でも同じである。

【0007】 前記第 2 構成に係る光ファイバ増幅器では、励起光波長が分布増幅型ラマン増幅器に関して 1410 nm、集中増幅型ラマン増幅器に関して 1393 nm および 1427 nm である。本構成における利得スペクトルを図 15 (b) に示した。同図を参照すれば、この場合、主に 1481 ~ 1510 nm の S 帯に利得が生じている。したがって、本構成では、利得波長域が制限されており狭いという欠点が生じている。また、前記励起光波長 1410 nm および 1393 nm は、前記損失ピーク波長近傍域に存在するため励起光の損失が大きく、励起効率が低下するという欠点が生じている。

【0008】 さらに、前記第 3 構成に係る光ファイバ増幅器では、TDFA の利得スペクトルと FRA の利得スペクトルの合成により、およそ 1460 ~ 1510 nm の広波長域で利得が生じている。しかしながら、FRA 用の励起光波長と TDFA 用の励起光波長が大きく離れているため、2 つの励起光源が必要であり、励起光源が波長に応じて 2 つ必要であるという欠点が生じている。

【0009】 本発明は、上記従来技術に鑑み、利得波長域が狭範囲に制限されず、また励起光源も一つで済み、さらに励起光の損失も低減し、励起効率の向上も図り得る光ファイバ増幅器を提供することを目的とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】 上記目的を達成する本発明の構成は、次の通りである。

【0011】 第 1 の発明は、トリウム添加ファイバと、分布ラマン増幅の利得媒質である敷設伝送ファイバと、1 波長の励起光源と、この励起光源からの励起光を分波する分波器と、信号光と前記分波器から出力した励起光とを合波する合波器とを有することを特徴とする。本発明では、励起光源が波長に応じて 2 つ必要であるという従来技術の欠点を解決できる。

【0012】 第 2 の発明は、トリウム添加ファイバと、集中ラマン増幅の利得媒質であるラマンファイバと、1 波長の励起光源と、この励起光源からの励起光を分波す

る分波器と、信号光と前記分波器から出力した励起光とを合波する合波器とを有することを特徴とする。本発明では、励起光源が波長に応じて2つ必要であるという従来技術の欠点を解決できる。

【0013】第3の発明は、トリウム添加ファイバと、分布ラマン増幅の利得媒質である敷設伝送ファイバと、1波長の励起光源と、この励起光源からの励起光を信号光と合波し、前記トリウム添加ファイバに入射させる合波器と、前記トリウム添加ファイバから出射した励起光を信号光と分波する分波器と、この分波器から出射した励起光を、前記敷設伝送ファイバに入射させ、信号光と合波する合波器とを有することを特徴とする。本発明では、励起光源が波長に応じて2つ必要であるという従来技術の欠点を解決できる。

【0014】第4の発明は、トリウム添加ファイバと、集中ラマン増幅の利得媒質であるラマンファイバと、1波長の励起光源と、この励起光源からの励起光を信号光と合波し、前記トリウム添加ファイバに入射させる合波器と、前記トリウム添加ファイバから出射した励起光を信号光と分波する分波器と、この分波器から出射した励起光を、前記ラマンファイバに入射させ、信号光と合波する合波器とを有することを特徴とする。本発明では、励起光源が波長に応じて2つ必要であるという従来技術の欠点を解決できる。

【0015】第5の発明は、トリウム添加ファイバと、集中ラマン増幅の利得媒質であるラマンファイバと、1波長の励起光源と、この励起光源からの励起光を信号光と合波し、前記ラマンファイバに入射させる合波器と、前記ラマンファイバから出射した励起光を信号光と分波する分波器と、この分波器から出射した励起光を、前記トリウム添加ファイバに入射させ、信号光と合波する合波器とを有することを特徴とする。本発明では、励起光源が波長に応じて2つ必要であるという従来技術の欠点を解決できる。

【0016】第6の発明は、トリウム添加ファイバ、又は集中ラマン増幅の利得媒質であるラマンファイバと、分布ラマン増幅の利得媒質である敷設伝送ファイバと、この敷設伝送ファイバを励起する励起光波長が1375nm未満の励起光源と、同じく励起光波長が1405nmより大きい励起光源とを有することを特徴とする。本発明では、励起光波長が損失ピーク波長近傍に存在するため励起光の損失が大きく、励起効率が低下するという従来技術の欠点を解決できる。

【0017】第7の発明は、分布ラマン増幅の利得媒質である敷設伝送ファイバと、集中ラマン増幅の利得媒質であるラマンファイバと、このラマンファイバを励起する励起光波長が1375nm未満の励起光源と、同じく励起光波長が1405nmより大きい励起光源とを有することを特徴とする。本発明では、前記励起光波長が前記損失ピーク波長近傍に存在するため励起光の損失が大

きく、励起効率が低下するという従来技術の欠点を解決できる。

【0018】第8の発明は、分布ラマン増幅の利得媒質である分散シフトファイバからなる敷設伝送ファイバと、信号光と励起光との合波器と、信号光の分波器に接続されたトリウム添加ファイバ増幅器と、このトリウム添加ファイバ増幅器に並列に前記分波器に接続されたエルビウム添加ファイバ増幅器又はラマン増幅器と、一方の励起光の波長が1350～1430nm、他方の励起光の波長が1430～1480nmである前記敷設伝送ファイバを励起する2つの励起光源とを有することを特徴とする。本発明では、前記敷設分散シフトファイバのゼロ分散波長域において、大きな分布ラマン利得が発生して、大きな光信号対雑音比が得られるという利点がある。

【0019】第9の発明は、上記1乃至5の発明の何れか一つに記載する光ファイバ増幅器において、前記励起光の波長が1340～1460nmであることを特徴とする。

【0020】第10の発明は、前段に設置した第1のラマンファイバと、後段に設置した第2のラマンファイバと、中間段に設置したトリウム添加ファイバと、前記第1のラマンファイバを励起する、波長が1420～1460nmの第1の励起光源と、前記第2のラマンファイバを励起する、波長が1420～1460nmの第2の励起光源と、前記トリウム添加ファイバを励起する第3の励起光源を有することを特徴とする。本発明では、約1520nm以上の波長域における前記損失をラマンファイバの利得が十分に補うため、雑音指数および信号光出力パワーの劣化を回避できる。

【0021】第11の発明は、前記第10の発明において、前記第1のラマンファイバを励起する、励起光波長が1340～1500nmの第4の励起光源と、前記第2のラマンファイバを励起する、励起光波長が1340～1500nmの第5の励起光源、の少なくとも1つを有することを特徴とする。本発明では、付加した短波長の励起光が、前記信号光の短波長域にラマン利得をもたらすので、2本のラマンファイバの利得を十分大きくできる（例えば7dB以上）という利点がある。

【0022】第12の発明は、前記第11の発明において、前記第4の励起光源から出射した励起光を、前記第1のラマンファイバに導くための信号光と励起光の合波器を、前記第1のラマンファイバの前段に設置したことを特徴とする。本発明では、付加した短波長の励起光が、前記信号光の短波長域にラマン利得をもたらすので、2本のラマンファイバの利得を十分大きくできる（例えば7dB以上）という利点がある。さらに前段のラマンファイバにおいて、短波長の励起光が、前方向（信号光と励起光がラマンファイバ中で同じ伝搬方向となる方向）からこのラマンファイバに入射する前方向励

起構成となっているので、その逆の後方向励起の場合に比べ、より効果的に、雑音指数の低減を図ることができる。

【0023】第13の発明は、前段に設置した分布ラマン増幅の利得媒質としての敷設伝送ファイバと、後段に設置した第2のラマンファイバと、中間段に設置したツリウム添加ファイバと、前記敷設伝送ファイバを励起する、波長が1420～1460nmの第1の励起光源と、前記ラマンファイバを励起する、波長が1420～1460nmの第2の励起光源と、前記ツリウム添加ファイバを励起する第3の励起光源を有することを特徴とする。本発明では、分布ラマン増幅の低雑音性から、当該光ファイバ増幅器の実効的な雑音指数を低減することができる。特に、その低減量は、分布ラマン利得の大きな波長域で大きく、ツリウム添加ファイバの損失に起因する雑音指数の劣化を顕著に除去できる。

【0024】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態を図面に基づき詳細に説明する。

【0025】【第1の実施の形態】図1(a)に示すように、本形態に係る光ファイバ増幅器は、分布ラマン増幅の利得媒質である敷設伝送ファイバ1と、ツリウム添加ファイバ2と、1波長(本例では1410nm)の励起光源3と、この励起光源3からの励起光を分波する分波器4と、信号光と前記分波器4から出力した励起光とを合波する合波器5、6とを有する。

【0026】本形態に係る光ファイバ増幅器は、図13(a)に示す従来技術と類似しているが、次の点が主に異なる。すなわち、図13(a)に示す構成では、伝送ファイバの励起光波長とTDFの励起光波長が明らかに異なっている。特に、TDFは2波長で励起されており、長波長側の励起光波長(1560nm)は明らかに伝送ファイバの励起に用いることはできない。

【0027】これに対し、本形態では、伝送ファイバ1の励起光波長と、ツリウム添加ファイバ2の励起光波長を同じにしている。ここで、図1(a)の構成は同じ励起光源3からの励起光を分波器4で2分して、伝送ファイバ1とツリウム添加ファイバ2を励起する構成を示している。この構成によれば、高価な励起光源3が1つで済むため、光ファイバ増幅器の低価格化を実現し得るといふ利点がある。ただ、同じ波長の励起光源を2つ用いて、伝送ファイバ1とツリウム添加ファイバ2をそれぞれ別の励起光源で励起しても良い。このとき、2つの励起光源の波長は、ツリウム添加ファイバ2の1.4ミクロン励起の波長帯にあればよい。

【0028】本形態によれば、伝送ファイバ1におけるラマン増幅の利得波長域とツリウム添加ファイバ2における誘導放出の利得波長域を一部あるいは全部一致させることができる。例えば、励起光波長を1390nm付近に設置することにより、いわゆるS帯(およそ148

0-1510nm)に伝送ファイバ1のラマン利得とツリウム添加ファイバ2の誘導放出利得を発生させることができる。

【0029】図2は上記第1の実施の形態における利得スペクトルの例を示している。このとき励起光波長は約1420nmとした。同図にはTDF A利得と分布ラマン利得、およびそれらの和である総合利得が示されている。ラマン利得スペクトルは励起光波長に依存して大きくシフトするが、TDF A利得スペクトルは励起光波長に余り依存しない。したがって、ラマン利得スペクトルとTDF A利得スペクトルの形状の逆特性を利用して、図に示したように総合利得帯域の拡大を行うことができる。

【0030】【第2の実施の形態】図1(b)に示すように、本形態に係る光ファイバ増幅器は、ツリウム添加ファイバ12と、集中ラマン増幅の利得媒質であるラマンファイバ11と、1波長の励起光源13と、この励起光源13からの励起光を分波する分波器14と、信号光と前記分波器14から出力した励起光とを合波する合波器15、16とを有する。

【0031】本形態に係る光ファイバ増幅器は、図13(c)に示す従来技術と類似しているが、次の点が主に異なる。すなわち、図13(c)に示す構成では、ラマンファイバの励起光波長とTDFの励起光波長が明らかに異なっている。特に、TDFは1060nmで励起されており、その波長域の励起光を、ラマンファイバのラマン増幅用励起光源として用いることはできない。

【0032】これに対し、本形態では、ツリウム添加ファイバ12の励起光波長と、ラマンファイバ11の励起光波長を同じにしている。ここで、図1(b)の構成は、図1(a)の構成と同様に、同じ励起光源13からの励起光を分波器14で2分して、ラマンファイバ11とツリウム添加ファイバ12を励起する構成を示している。

【0033】本形態の利得スペクトルの特徴および利点は、前記第1の実施の形態と同様である。ただし、ラマンファイバ11は集中増幅の利得媒質であるから、ラマン利得には、ラマンファイバの非励起時の信号光損失を考慮する必要がある。

【0034】【第3の実施の形態】図3(a)に示すように、本形態に係る光ファイバ増幅器は、分布ラマン増幅の利得媒質である敷設伝送ファイバ21と、ツリウム添加ファイバ22と、1波長の励起光源23と、この励起光源23からの励起光を信号光と合波して前記ツリウム添加ファイバ22に入射させる合波器24と、前記ツリウム添加ファイバ22から出射した励起光を信号光と分波する分波器25と、この分波器25から出射した励起光を前記敷設伝送ファイバ21に入射させて信号光と合波する合波器26とを有する。

【0035】本形態に係る光ファイバ増幅器は、第1の

実施の形態と類似しているが、次の点が主に異なる。すなわち、第1の実施の形態では、一つの励起光源3からの励起光を分波器4で2分して、伝送ファイバ1及びツリウム添加ファイバ2に分配してこれらを励起している。

【0036】これに対し、本形態では、一つの励起光源23からの励起光を、まず合波器24を用いてツリウム添加ファイバ22に導入し、そのツリウム添加ファイバ22を高い励起光パワーで励起する。そして、ツリウム添加ファイバ22で吸収されずに出射した励起光を、分波器25及び合波器26を用いて伝送ファイバ21に導入している。この結果、ツリウム添加ファイバ22の動作条件に依存するが、ツリウム添加ファイバ22では高い割合で励起光が突き抜け、励起光源23からの励起光のうち、かなりの割合の励起光を伝送ファイバ21に導入できる。したがって、本形態によれば、第1の実施の形態に比べツリウム添加ファイバ22を高い励起光パワーで励起できる等の利点がある。勿論、従来技術に対しては、第1の実施の形態と同様の利点を有する。

【0037】[第4の実施の形態] 図3(b)に示すように、本形態に係る光ファイバ増幅器は、ツリウム添加ファイバ32と、集中ラマン増幅の利得媒質であるラマンファイバ31と、1波長の励起光源33と、この励起光源33からの励起光を信号光と合波して前記ラマンファイバ31に入射させる合波器34と、前記ラマンファイバ31から出射した励起光を信号光と分波する分波器35と、この分波器35から出射した励起光を前記ツリウム添加ファイバ32に入射させ、信号光と合波する合波器36とを有する。ここで、ツリウム添加ファイバ32から出射された信号光はサーキュレータ37を介して外部に出射される。一方、分波器35を透過した信号光はミラー38で反射され、再度分波器35を透過してラマンファイバ31に入射し、ここで再度増幅された後、合波器34を透過し、サーキュレータ37を介して外部に出射される。

【0038】本形態に係る光ファイバ増幅器は、第2の実施の形態と類似しているが、次の点が主に異なる。すなわち、第2の実施の形態では、一つの励起光源13からの励起光を分波器14で2分して、ツリウム添加ファイバ12及びラマンファイバ11に分配してこれらを励起している。

【0039】これに対し、本形態では、一つの励起光源33からの励起光を、まず合波器34を用いてラマンファイバ31に導入し、そのラマンファイバ31を高い励起光パワーで励起する。そして、ラマンファイバ31で吸収されずに出射した励起光を、分波器35及び合波器36を用いてツリウム添加ファイバ32に導入している。この結果、ラマンファイバ31の種類や使用形態に依存するが、ラマンファイバ31の励起光損失の値は1〜3 dBであるから、かなり高い割合の励起光がラマン

ファイバ31を突き抜ける。したがって、本形態によれば、第2の実施の形態に比べラマンファイバ31を高い励起光パワーで励起できる等の利点がある。勿論、従来技術に対しては、第2の実施の形態と同様の利点を有する。

【0040】上記第4の実施の形態において、前記ラマンファイバ31とツリウム添加ファイバ32を入れ替えた構成でも同様のことが成り立つ。

【0041】[第5の実施の形態] 図4(a)に示すように、本形態に係る光ファイバ増幅器は、分布ラマン増幅の利得媒質である伝送ファイバ41と、ツリウム添加ファイバ42と、前記伝送ファイバ41を励起する励起光波長が1375 nm未満の励起光(本形態では1370 nm)を出射する励起光源43と、同じく励起光波長が1405 nmより大きい励起光(本形態では1410 nm)を出射する励起光源44と、前記ツリウム添加ファイバ42を励起する励起光源45とを有する。ここで、励起光源43、44から出射される励起光は、合波器46を介して伝送ファイバ41に供給され、また励起光源45から出射される励起光は合波器47を介してツリウム添加ファイバ42に供給される。

【0042】本形態に係る光ファイバ増幅器は、図13(a)に示す従来技術と類似しているが、次の点が主に異なる。すなわち、従来技術では、伝送ファイバを1380 nm及び1400 nmの2波長で励起しているが、本形態では1370 nm及び1410 nmの2波長で励起している。すなわち、ラマン増幅の励起光波長が異なる。

【0043】図16に示すシリカファイバの損失スペクトル特性によれば、図13(a)に示す従来技術では、励起光波長はOH基の吸収ピーク波長近傍域である1375〜1405 nmの間である。したがって、励起光に対する損失係数が大きく、ファイバ有効長が短くなるため、ラマン増幅の励起効率が小さかった。

【0044】これに対し、本形態では、励起光波長を前記吸収ピーク波長近傍域1375〜1405 nmの外側に設置しているため励起効率が低い。また、ラマン利得の広帯域性から、図13(a)に示す従来技術と本形態における利得スペクトルは大きな違いはない。したがって、本形態では、ラマン増幅の励起効率を向上できるという利点がある。

【0045】上記第5の実施の形態において、前記ツリウム添加ファイバ42と集中ラマン増幅の利得媒質であるラマンファイバとを入れ替えた構成でも同様のことが成り立つ。

【0046】[第6の実施の形態] 図4(b)に示すように、本形態に係る光ファイバ増幅器は、分布ラマン増幅の利得媒質である伝送ファイバ51と、集中ラマン増幅の利得媒質であるラマンファイバ52と、このラマンファイバ52を励起する励起光波長が1375 nm未満



の励起光（本形態では1370nm）を出射する励起光源53と、同じく励起光波長が1405nmより大きい励起光（本形態では1410nm）を出射する励起光源54と、前記伝送ファイバ51を励起する励起光源55とを有する。ここで、励起光源53、54から出射される励起光は、合波器56を介してラマンファイバ52に供給され、また励起光源55から出射される励起光は合波器57を介して伝送ファイバ51に供給される。

【0047】本形態に係る光ファイバ増幅器は、図13(b)に示す従来技術と類似しているが、次の点が主に異なる。すなわち、従来技術では、ラマンファイバを1393nm及び1427nmの2波長で励起しているが、本形態では1370nm及び1410nmの2波長で励起している。すなわち、ラマン増幅の励起光波長が異なる。

【0048】図16に示すシリカファイバの損失スペクトル特性によれば、図13(b)に示す構成では、励起光波長の一つである1393nmはOH基の吸収ピーク波長近傍域である1375～1405nmの間である。したがって、励起光に対する損失係数が大きく、ファイバ有効長が短くなるため、ラマン増幅の励起効率が小さかった。

【0049】一方、本形態では、励起光波長を前記吸収ピーク波長近傍域1375～1405nmの外側に設置しているため励起効率が低い。また、ラマン利得の広帯域性から、図13(b)に示す従来技術と本形態における利得スペクトルは大きな違いはない。したがって、本形態では、ラマン増幅の励起効率を向上できるという利点がある。

【0050】【第7の実施の形態】図5に示すように、本形態に係る光ファイバ増幅器は、分布ラマン増幅の利得媒質である分散シフトファイバからなる伝送ファイバ61と、信号光の合波器62及び分波器63に接続されたツリウム添加ファイバ増幅器64と、このツリウム添加ファイバ増幅器64に並列に前記分波器63に接続されたエルビウム添加ファイバ増幅器65と、前記ツリウム添加ファイバ増幅器64及びエルビウム添加ファイバ増幅器65の出射光を合波する合波器66と、一方の励起光の波長が1350～1430nm（本形態では1410nm）、他方の励起光の波長が1430～1480nm（本形態では1440nm）である前記伝送ファイバ61を励起する2つの励起光源67、68とを有する。

【0051】本形態に係る光ファイバ増幅器は、図14に示す従来技術の構成と類似しているが、次の点が主に異なる。すなわち、図14に示す従来技術では、伝送ファイバを1380nm及び1400nmの2波長で励起しているが、本形態では1410nm及び1440nmの2波長で励起している。ここで、伝送ファイバは分散補償ファイバである。すなわち、従来技術と本実施の形

態ではラマン増幅の励起光波長が異なる。この結果、従来技術の構成では、図2に示す本発明の第1の実施の形態におけるスペクトルと同様、分散補償ファイバのゼロ分散波長域である1550nm近傍においてラマン利得が小さい。

【0052】一方、本形態では、図6に示すように、1440nmの励起光を用いたラマン増幅により前記ゼロ分散波長域においてラマン利得が大きい。したがって、大きな分布ラマン利得によって前記ゼロ分散波長域において大きな光信号対雑音比が得られるという利点がある。

【0053】【第8の実施の形態】図7は、本発明の第8の実施の形態に係る光ファイバ増幅器の構成を示している。同図に示すように、本形態は、前記第7の実施の形態と類似しているが、次の点が主に異なる。すなわち、第7の実施の形態では、ツリウム添加ファイバ増幅器64と並列してエルビウム添加ファイバ増幅器65を用いているが、本形態ではツリウム添加ファイバ増幅器64と並列してラマン増幅器75を用いている。なお、図7中、図5と同一部分には同一番号を付し、重複する説明は省略する。

【0054】本形態における利得スペクトル特性を図8に示す。第7の実施の形態では、1550nm以下のEDFA利得を波長に対して左肩下がりにする必要があるが、そのようなスペクトル設定は損失の大きな利得等化器を用いるなどの理由から効率が悪いという欠点がある。

【0055】一方、本形態では、1550nm以下のラマン利得を波長に対して左肩下がりにする必要があるが、そのようなスペクトル設定はラマン利得のスペクトル特性から容易であるという利点がある。

【0056】【第9の実施の形態】図9に示すように、本形態に係る光ファイバ増幅器は、前段に設置したラマンファイバ81と、後段に設置したラマンファイバ83と、中間に設置したツリウム添加ファイバ82と、前記ラマンファイバ81を励起する波長が1420～1460nmの励起光源84と、前記ラマンファイバ83を励起する波長が1420～1460nmの励起光源86と、前記ツリウム添加ファイバ82を励起する励起光源85とを有する。なお、図中、87、88、89は合波器である。

【0057】本形態は、図13(c)の従来技術、および図1(b)の第2の実施の形態に類似しているが、下記の点がおもに異なる。すなわち、本形態の光ファイバ増幅器は、2つのラマンファイバ81、83と、1つのツリウム添加ファイバ(TDF)82を有している。前記従来技術および第2の実施の形態では、ラマンファイバ11は1つであった。また、本形態では、ラマンファイバ81、83に対する励起光波長を約1420nm以上、約1460nm以下としている。例えば、図9で

は、その励起光波長は1440nmである。図10は、本形態で得られる利得スペクトル例を示している。

【0058】TDFの利得波長域の上限は、約1520nmであるため、それより長波長側では、TDFは、基底準位吸収に起因する損失を、信号光に与える。そこで、図13(c)に示す従来技術では、ラマンファイバに対する励起光波長は約1415nm以下としていた。このため、光ファイバ増幅器の利得波長域は、約1510nm以下に限られるという欠点があった。また、第2の実施の形態で、ラマンファイバ11に対する励起光波長を約1415nm以上とした場合には、TDF12が前段で、ラマンファイバ11が後段に配置されているときには、雑音指数が約1520nm以上の波長域で劣化するという欠点がある。また、同じく、ラマンファイバ11が前段で、TDF12が後段に配置されているときには、信号光出力パワーが約1520nm以上の波長域で劣化するという欠点がある。

【0059】これに対し、本形態では、約1520nm以上の波長域における前記損失をラマンファイバ83の利得が十分に補うため、前記のような雑音指数および信号光出力パワーの劣化を回避できるという利点がある。前記損失の典型例は、波長1540nmで約5dB、前記ラマンファイバ利得の典型例は、波長1540nmで約20dBである。

【0060】したがって、従来技術および第2実施の形態では、低い雑音指数と高い信号光出力パワーが得られる信号光波長の上限が、約1510nmであるのに対し、本形態では、その上限を、約1560nmまで拡大することができるという利点がある。前記信号光波長の上限約1560nmは、前記ラマンファイバ81、83に対する励起光波長の上限約1460nmによって決まる。その理由は、1460nmの励起光によるラマン利得のピーク波長が、約1560nmであるためである。図10に示す利得スペクトル例では、1460-1540nmの約80nmの広波長域で平坦利得が得られている。

【0061】[第10の実施の形態] 図11に示すように、本形態に係る光ファイバ増幅器は、前段に設置したラマンファイバ91と、後段に設置したラマンファイバ93と、中間に設置したツリウム添加ファイバ92と、前記ラマンファイバ91を励起する波長が1420~1460nmの励起光源94と、前記ラマンファイバ93を励起する波長が1420~1460nmの励起光源96と、前記ツリウム添加ファイバ92を励起する励起光源95を有するばかりでなく、前記ラマンファイバ91を励起する励起光波長が1340~1500nmの励起光源100と、前記ラマンファイバ93を励起する励起光波長が1340~1500nmの励起光源96を有する。なお、図中、97、98、99、102、103は合波器である。

【0062】本形態は、前記第9の実施の形態と類似しているが、下記の点がおもに異なる。すなわち、第9の実施の形態ではラマンファイバ81、83の励起光波長は、ともに、1波長(1440nm)であるが、本形態では2波長(1380nmおよび1440nm)としている。第9の実施の形態では、短波長域(例えば1470nm以下)で、ラマンファイバ81、83の利得が十分大きくない(例えば3dB以下)ため、その短波長域で、雑音指数および信号光出力パワーの劣化が生じてしまうという欠点がある。

【0063】これに対し、本形態では、付加した短波長の励起光が、前記信号光の短波長域にラマン利得をもたらすので、ラマンファイバ91、93の利得を十分大きくできる(例えば7dB以上)という利点がある。また、特に、ラマンファイバ91において、短波長の励起光が、前方向(信号光と励起光がラマンファイバ91中で同じ伝搬方向となる方向)からラマンファイバ91に入射する前方向励起構成となっているので、その逆の後方向励起の場合に比べ、より効果的に、雑音指数の低減を図ることができる。前記短波長の励起光の波長は、1340~1500nmであれば、上記の効果が期待できて有効である。

【0064】[第11の実施の形態] 図12に示すように、本形態に係る光ファイバ増幅器は、前段に設置した分布ラマン増幅の利得媒質としての敷設伝送ファイバ111と、後段に設置したラマンファイバ113と、中間段に設置したツリウム添加ファイバ112と、前記敷設伝送ファイバ111を励起する波長が1420~1460nmの励起光源114と、前記ラマンファイバ113を励起する、波長が1420~1460nmの励起光源116と、前記ツリウム添加ファイバ112を励起する励起光源115とを有する。なお、図中、117、118、119は合波器である。

【0065】図12は、本発明の第11の実施の形態に係る光ファイバ増幅器の構成を示している。本形態は前記第9の実施の形態と類似しているが、下記の点がおもに異なる。すなわち、第9の実施の形態ではラマン増幅の利得媒質として、2つのラマンファイバ81、83を用いているが、本形態では、1つのラマンファイバ113を、光ファイバ増幅器の出力側に設置し、ツリウム添加ファイバ112の前段の敷設伝送ファイバ111を、分布ラマン増幅の利得媒質としている。

【0066】この結果、分布ラマン増幅の低雑音性から、本形態に係る光ファイバ増幅器の実効的な雑音指数を低減することができる。特に、その低減量は、分布ラマン利得の大きな波長域で大きく、前記、TDF111の損失に起因する雑音指数の劣化を顕著に除去できるという利点がある。

【0067】

【発明の効果】以上述べたように、本発明の実施例によ

れば、従来技術で問題であった、利得波長域が制限されており狭いという欠点、また、励起光源が波長に応じて2つ必要であるという欠点、励起光の損失が大きく、励起効率が低下するという欠点、集中増幅型ラマン増幅器を用いているため雑音が大きという欠点、さらに、2つの励起光源が必要であり、励起光源が波長に応じて2つ必要であるという欠点が解決できる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施の形態に係る光ファイバ増幅器の構成を示すブロック線図で、(a)が第1の実施の形態、(b)が第2の実施の形態である。

【図2】図1に示す第1の実施の形態に係る光ファイバ増幅器における利得スペクトルを示すグラフである。

【図3】本発明の実施の形態に係る光ファイバ増幅器の構成を示すブロック線図で、(a)が第3の実施の形態、(b)が第4の実施の形態である。

【図4】本発明の実施の形態に係る光ファイバ増幅器の構成を示すブロック線図で、(a)が第5の実施の形態、(b)が第6の実施の形態である。

【図5】本発明の第7の実施の形態に係る光ファイバ増幅器の構成を示すブロック線図である。

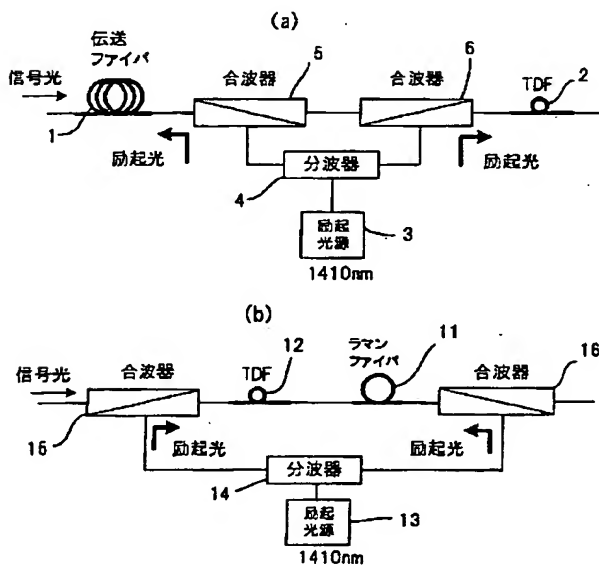
【図6】図5に示す第7の実施の形態に係る光ファイバ増幅器における利得スペクトルを示すグラフである。

【図7】本発明の第8の実施の形態に係る光ファイバ増幅器の構成を示すブロック線図である。

【図8】図7に示す第8の実施の形態に係る光ファイバ増幅器における利得スペクトルを示すグラフである。

【図9】本発明の第9の実施の形態に係る光ファイバ増幅器の構成を示すブロック線図である。

【図1】



【図10】図9に示す第9の実施の形態に係る光ファイバ増幅器における利得スペクトルを示すグラフである。

【図11】本発明の第10の実施の形態に係る光ファイバ増幅器の構成を示すブロック線図である。

【図12】本発明の第11の実施の形態に係る光ファイバ増幅器の構成を示すブロック線図である。

【図13】従来技術に係る各光ファイバ増幅器の第1乃至第3の構成を示すブロック線図である。

【図14】従来技術に係る各光ファイバ増幅器の第4の構成を示すブロック線図である。

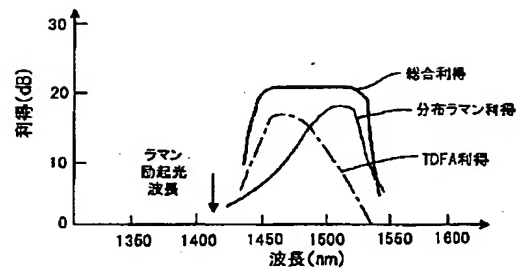
【図15】従来技術に係る光ファイバ増幅器における利得スペクトルを示すグラフで、(a)は図13(a)に示す第1の構成、(b)は図13(b)に示す第2の構成に対応するものである。

【図16】シリカファイバの損失スペクトルを示すグラフである。

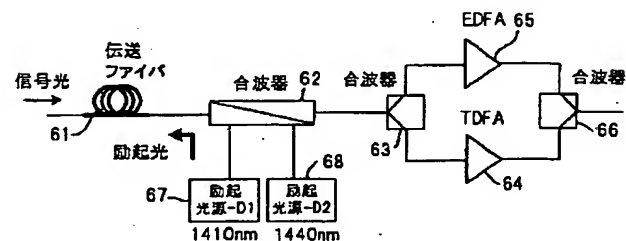
#### 【符号の説明】

- 1, 21, 41, 51, 61, 111 伝送ファイバ
- 2, 12, 22, 32, 42, 82, 92, 102 ツリウム添加ファイバ
- 3, 13, 23, 33, 43, 44, 45, 53, 54, 55, 67, 68, 84, 85, 86, 94, 95, 96, 100, 101, 114, 115, 116 励起光源
- 11, 31, 52, 81, 83, 91, 93, 113 ラマンファイバ
- 64 ツリウム添加ファイバ増幅器
- 65 エルビウム添加ファイバ増幅器
- 75 ラマン増幅器

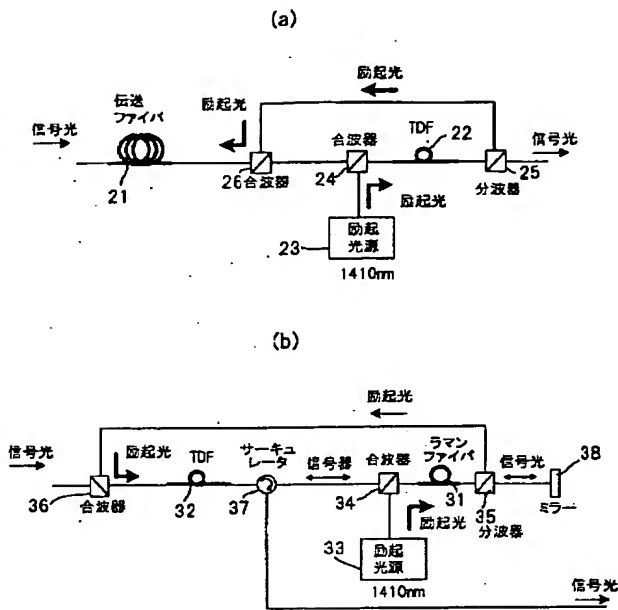
【図2】



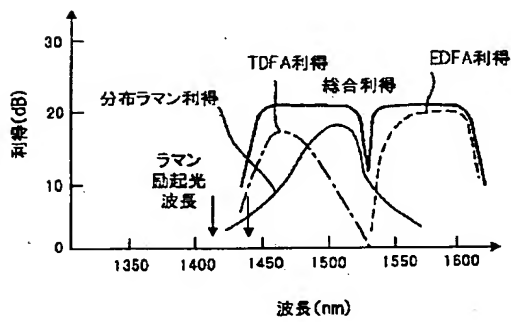
【図5】



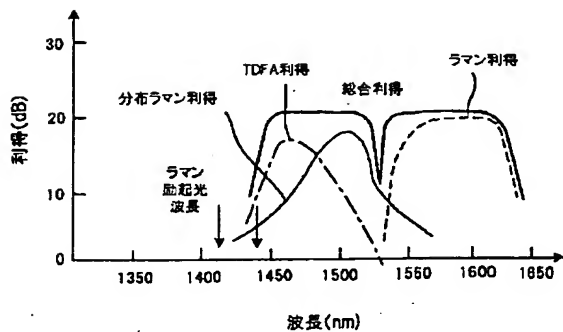
【図3】



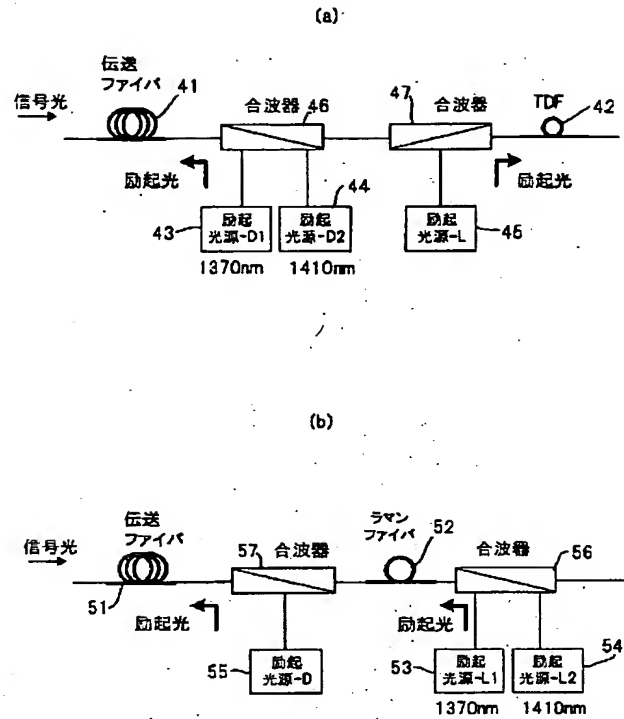
【図6】



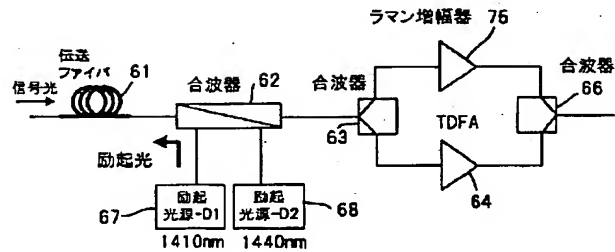
【図8】



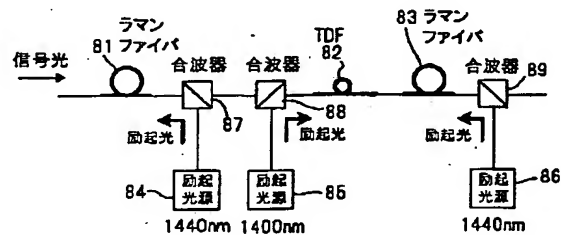
【図4】



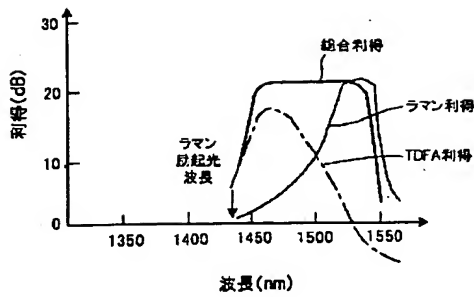
【図7】



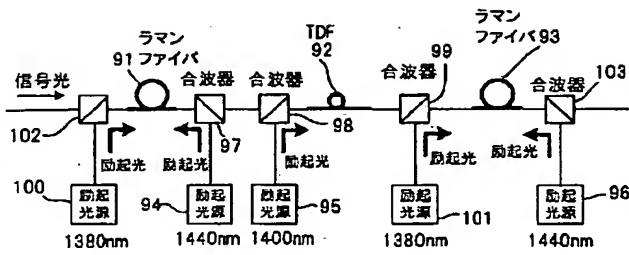
【図9】



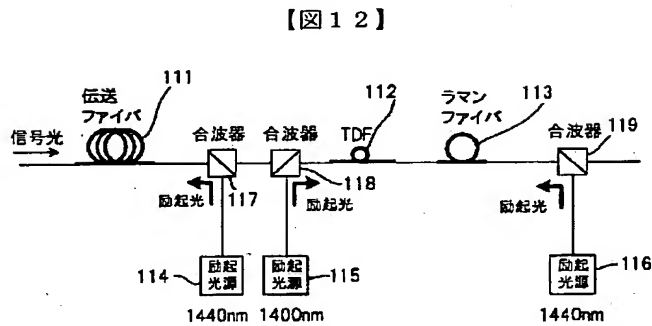
【図10】



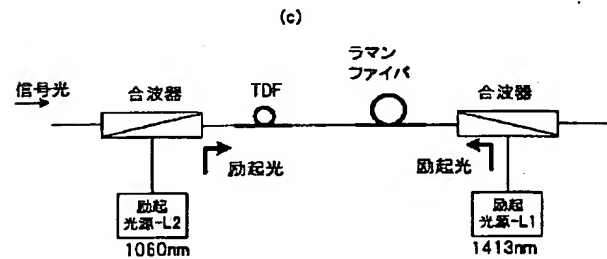
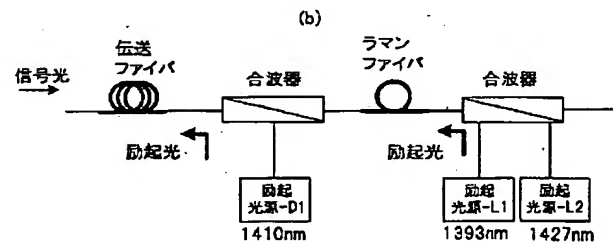
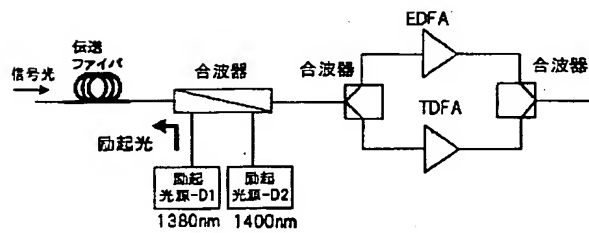
【図11】



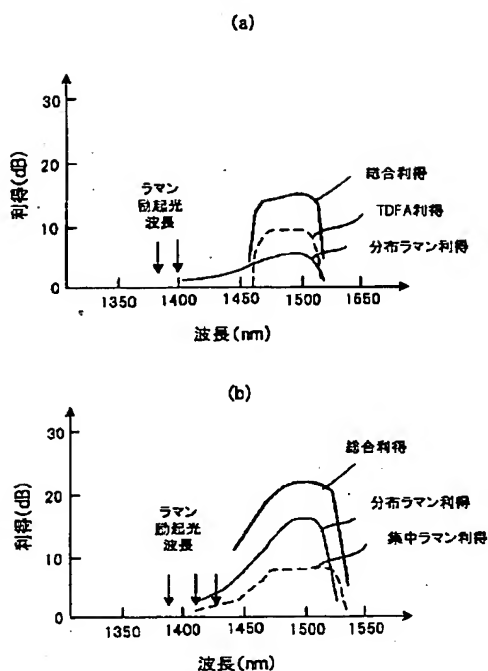
【図13】



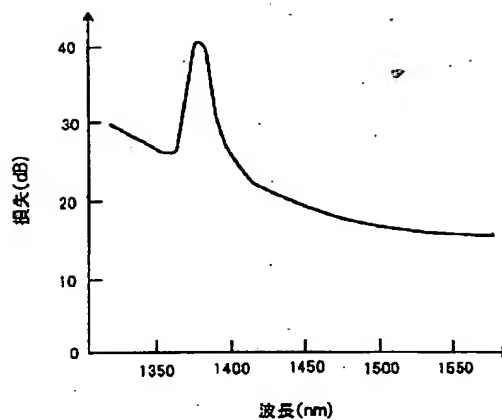
【図14】



【図15】



【図16】



フロントページの続き

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>

識別記号

H04B 10/16  
10/17

F I

H04B 9/00

テーマコード\* (参考)

J

(72) 発明者 小野 浩孝

東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日  
本電信電話株式会社

(72) 発明者 青笹 真一

東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日  
本電信電話株式会社

(72) 発明者 清水 誠

東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日  
本電信電話株式会社Fターム(参考) 2K002 AA02 AB30 BA01 CA15 DA10  
GA10 HA235F072 AB07 AB20 AK06 JJ20 QQ07  
YY175K002 AA06 BA05 BA13 BA21 CA03  
CA08 FA02

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number :  
2003-110178

(43)Date of publication of application :  
11.04.2003

(51)Int.Cl.  
H01S 3/23

G02F 1/35

H01S 3/06

H01S 3/10

H01S 3/30

H04B 10/16

H04B 10/17

(21)Application number :  
2002-030342

(71)Applicant :  
NIPPON TELEGR & TELEPH CORP <NTT>

(22)Date of filing :  
07.02.2002

(72)Inventor :  
MASUDA KOJI  
MORI ATSUSHI  
ONO HIROTAKA  
AOZASA SHINICHI  
SHIMIZU MAKOTO

(30)Priority  
Priority number :  
2001227285

Priority date :  
27.07.2001

Priority country :  
JP

(54) OPTICAL FIBER AMPLIFIER

(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an optical fiber amplifier which requires only one excitation light source.

SOLUTION: The optical fiber amplifier comprises a transmission fiber 1 which is a gain medium for distribution Raman amplification, thulium-added fiber 2, one-wavelength excitation light source 3, wave divider which divides the excitation light from the excitation light source 3, and wave combiners 5 and 6 for combining signal light and the excitation light output from the wave divider. Due to this structure, only one excitation light source 3 is required.

LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

10.02.2004

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

\* NOTICES \*

JPO and NCIP are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.

3. In the drawings, any words are not translated.

CLAIMS

[Claim(s)]

[Claim 1] Optical fiber amplifier characterized by having the multiplexing machine which multiplexes a thulium addition fiber, the construction transmission fiber



which is the gain medium of distribution Raman magnification, one wave of excitation light source, the splitter which separates spectrally the excitation light from this excitation light source, and signal light and the excitation light outputted from said splitter.

[Claim 2] Optical fiber amplifier characterized by having the multiplexing machine which multiplexes a thulium addition fiber, Raman Feiba which is the gain medium of concentration Raman magnification, one wave of excitation light source, the splitter which separates spectrally the excitation light from this excitation light source, and signal light and the excitation light outputted from said splitter.

[Claim 3] A thulium addition fiber and the construction transmission fiber which is the gain medium of distribution Raman magnification, One wave of excitation light source, and the multiplexing machine which it multiplexes [ machine ] with signal light and carries out incidence of the excitation light from this excitation light source to said thulium addition fiber, Optical fiber amplifier characterized by having the splitter which separates spectrally the excitation light which carried out outgoing radiation from said thulium addition fiber with signal light, and the multiplexing machine incidence of the excitation light which carried out outgoing radiation from this splitter is carried out [ machine ] to said construction transmission fiber, and it multiplexes [ machine ] with signal light.

[Claim 4] A thulium addition fiber and Raman Feiba which is the gain medium of concentration Raman magnification, One wave of excitation light source, and the multiplexing machine which it multiplexes [ machine ] with signal light and carries out incidence of the excitation light from this excitation light source to said thulium addition fiber, Optical fiber amplifier characterized by having the splitter which separates spectrally the excitation light which carried out outgoing radiation from said thulium addition fiber with signal light, and the multiplexing machine incidence of the excitation light which carried out outgoing radiation from this splitter is carried out [ machine ] to said Raman Feiba, and it multiplexes [ machine ] with signal light.

[Claim 5] A thulium addition fiber and Raman Feiba which is the gain medium of concentration Raman magnification, One wave of excitation light source, and the multiplexing machine which it multiplexes [ machine ] with signal light and carries out incidence of the excitation light from this excitation light source to said Raman Feiba, Optical fiber amplifier characterized by having the splitter which separates spectrally the excitation light which carried out outgoing radiation from said Raman Feiba with signal light, and the multiplexing machine incidence of the excitation light which carried out outgoing radiation from this splitter is carried out [ machine ] to said thulium addition fiber, and it multiplexes [ machine ] with signal light.

[Claim 6] Optical fiber amplifier characterized by having the excitation light source with the excitation light wave length same with the less than 1375nm excitation light source who excites a thulium addition fiber or Raman Feiba which is the gain medium of concentration Raman magnification, the construction transmission fiber which is the gain medium of distribution Raman magnification, and this construction transmission fiber, and larger excitation light wave length than

1405nm.

[Claim 7] Optical fiber amplifier characterized by having the excitation light source with the excitation light wave length same with the less than 1375nm excitation light source who excites the construction transmission fiber which is the gain medium of distribution Raman magnification, Raman Feiba which is the gain medium of concentration Raman magnification, and this Raman Feiba, and larger excitation light wave length than 1405nm.

[Claim 8] The construction transmission fiber which consists of a distributed shift fiber which is the gain medium of distribution Raman magnification, The multiplexing machine of signal light and excitation light, and the thulium addition fiber amplifier connected to the splitter of signal light, The erbium addition fiber amplifier or the Raman amplifier connected to this thulium addition fiber amplifier at juxtaposition at said splitter, Optical fiber amplifier with which wavelength of one excitation light is characterized by the wavelength of 1350-1430nm and the excitation light of another side having the two excitation light sources which excite said construction transmission fiber which is 1430-1480nm.

[Claim 9] [Claim 1] Or optical fiber amplifier characterized by the wavelength of said excitation light being 1340-1460nm in any of [claim 5], or the optical fiber amplifier indicated to one.

[Claim 10] The 1st Raman Feiba installed in the preceding paragraph, and the 2nd Raman Feiba installed in the latter part, The 1st excitation light source whose wavelength which excites the thulium addition fiber installed in an intermediate stage and said 1st Raman Feiba is 1420-1460nm, Optical fiber amplifier characterized by having the 2nd excitation light source whose wavelength which excites said 2nd Raman Feiba is 1420-1460nm, and the 3rd excitation light source which excites said thulium addition fiber.

[Claim 11] Optical fiber amplifier given in [claim 10] characterized by having the 5th at least one of the excitation light source \*\*s whose excitation light wave length who excites the 4th excitation light source whose excitation light wave length who excites said 1st Raman Feiba is 1340-1500nm, and said 2nd Raman Feiba is 1340-1500nm.

[Claim 12] Optical fiber amplifier given in [claim 11] characterized by installing the multiplexing machine of the signal light for leading the excitation light which carried out outgoing radiation from said 4th excitation light source to said 1st Raman Feiba, and excitation light in the preceding paragraph of said 1st Raman Feiba.

[Claim 13] The construction transmission fiber as a gain medium of distribution Raman magnification installed in the preceding paragraph, The 2nd Raman Feiba installed in the latter part, and the thulium addition fiber installed in an intermediate stage, The 1st excitation light source which excites said construction transmission fiber and whose wavelength is 1420-1460nm, Optical fiber amplifier characterized by having the 2nd excitation light source which excites said Raman Feiba, and whose wavelength is 1420-1460nm, and the 3rd excitation light source which excites said thulium addition fiber.

[Translation done.]

\* NOTICES \*

JPO and NCIP are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] This invention is applied to the optic fiber communication system which communicates especially using an optical fiber about an optical fiber amplifier, and is useful.

[0002]

[Description of the Prior Art] The optical fiber amplifier concerning the conventional technique is shown in drawing 13 (a) thru/or drawing 13 (c). The optical fiber amplifier shown in these drawings has the configuration which all carried out series connection of a thulium (Tm) addition optical fiber amplifier (TDFA) and the Feiba Raman amplifier (omitting the Raman amplifier, FRA) about propagation of signal light. However, the configuration (bibliography [2] J.Masum-Thomas et al., OFC, WDD9, and 2001) the configuration (bibliography [1] KFukuchi et al., OFC, PD24, 2001) shown in drawing 13 (a) indicates distribution magnification mold Raman amplifier to be to drawing 13 (c) uses intensive magnification mold Raman amplifier. Moreover, the configuration (bibliography [3] J.Bromage et al., OFC, PD4, and 2001) shown in drawing 13 (b) has the configuration which carried out series connection of distribution magnification mold Raman amplifier and the intensive magnification mold Raman amplifier.

[0003] A thulium addition fiber (TDF) and the gain medium of FRA of the gain medium of TDFA are silica fibers. However, a silica fiber is a transmission fiber which is the transmission line when FRA is a distribution magnification mold, and when FRA is an intensive magnification mold, it is the fiber (Raman Feiba) rolled round and held in the bobbin etc. It is L about a thing [ on drawing 13 and as opposed to TDFA and the intensive magnification mold FRA in the incidental notation of the excitation light source ], the thing about the distribution magnification mold FRA is expressed with D, and it is the excitation light source. - It has written like in L1 etc.

[0004] Furthermore, other configurations (bibliography [1]) of the optical fiber amplifier concerning the conventional technique are shown in drawing 14 (a) and drawing 14 (b). Although this configuration is similar to what is shown in drawing 13 (a), the configurations of an intensive magnification part differ. The intensive magnification part of this configuration has the configuration which carried out the

parallel arrangement of TDFA and the EDFA.

[0005]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] The following problems have arisen with the above-mentioned conventional technique. In the optical fiber amplifier concerning the 1st configuration shown in drawing 13 (a), the excitation wavelength of TDF is 1420nm and 1560nm. At this time, the gain spectrum of TDFA was shown in drawing 15, and the gain of TDFA is in the wavelength region called 1480 to 1510nm S band. The gain spectrum of this kind of optical fiber amplifier is decided from a distribution Raman gain spectrum and a TDFA gain spectrum, as shown in drawing 15 (a). Therefore, with this configuration, the gain wavelength region is restricted and the fault of being narrow has arisen. Moreover, the fault that the two excitation light sources are required according to wavelength has arisen.

[0006] Furthermore, the excitation wavelength of the transmission fiber of the optical fiber amplifier concerning said 1st configuration is 1380nm and 1400nm. The example of the loss spectrum of silica fibers, such as a transmission fiber, is shown in drawing 16. This is one example in case a silica fiber is a 80km transmission fiber. As shown in this drawing, the peak of the loss spectrum with which the silica fiber concerned originates in the OH radical in a silica fiber 1380 thru/or near 1390nm exists. The loss spectrum of a silica fiber changes a little with classes (classes, such as a transmission fiber and Raman Feiba) of silica fiber, and especially the loss spectrum peak value of said OH radical reason changes greatly according to the class of silica fiber. However, with the transmission fiber

[ finishing / many constructions ] (1.3-micrometer single mode fiber and 1.5-micrometer distribution shift fiber), said loss spectrum peak value is large, it is influenced by it and the loss value near [ the ] the peak wavelength is increasing. The region near the peak wavelength is about 1375-1405nm. Therefore, in the optical fiber amplifier concerning the 1st configuration, excitation light wave length is set as the region near the peak wavelength. Therefore, the fault that loss of excitation light is large and excitation efficiency falls has arisen. This is the same also at the optical fiber amplifier concerning said 4th configuration.

[0007] In the optical fiber amplifier concerning said 2nd configuration, excitation light wave length is 1393nm and 1427nm about 1410nm and intensive magnification mold Raman amplifier about distribution magnification mold Raman amplifier. The gain spectrum in this configuration was shown in drawing 15 (b). If this drawing is referred to, gain has mainly arisen on 1481-1510nm S band in this case. Therefore, with this configuration, the gain wavelength region is restricted and the fault of being narrow has arisen. Moreover, 1410nm of excitation light wave length and said 1393nm of faults that loss of excitation light is large since it exists in said region near the loss peak wavelength, and excitation efficiency falls have arisen.

[0008] Furthermore, in the optical fiber amplifier concerning said 3rd configuration, gain has arisen by composition of the gain spectrum of TDFA, and the gain spectrum of FRA in the about 1460-1510nm extensive wavelength region. However, since the excitation light wave length for FRA and the excitation light wave length

for TDFA are greatly separated, the fault that the excitation light source whose number is two is required, and the two excitation light sources are required according to wavelength has arisen.

[0009] In view of the above-mentioned conventional technique, a gain wavelength region is not restricted to a short range, and the excitation light source can also be managed with one, and this invention also reduces loss of excitation light further, and aims at offering the optical fiber amplifier which can also aim at improvement in excitation efficiency.

[0010]

[Means for Solving the Problem] The configuration of this invention which attains the above-mentioned purpose is as follows.

[0011] 1st invention is characterized by having the multiplexing machine which multiplexes a thulium addition fiber, the construction transmission fiber which is the gain medium of distribution Raman magnification, one wave of excitation light source, the splitter which separates spectrally the excitation light from this excitation light source, and signal light and the excitation light outputted from said splitter. In this invention, the excitation light source can solve the fault of the conventional technique in which two are required, according to wavelength.

[0012] 2nd invention is characterized by having the multiplexing machine which multiplexes a thulium addition fiber, Raman Feiba which is the gain medium of concentration Raman magnification, one wave of excitation light source, the splitter which separates spectrally the excitation light from this excitation light source, and signal light and the excitation light outputted from said splitter. In this invention, the excitation light source can solve the fault of the conventional technique in which two are required, according to wavelength.

[0013] The construction transmission fiber whose 3rd invention is a thulium addition fiber and the gain medium of distribution Raman magnification, One wave of excitation light source, and the multiplexing machine which it multiplexes [ machine ] with signal light and carries out incidence of the excitation light from this excitation light source to said thulium addition fiber, It is characterized by having the splitter which separates spectrally the excitation light which carried out outgoing radiation from said thulium addition fiber with signal light, and the multiplexing machine incidence of the excitation light which carried out outgoing radiation from this splitter is carried out [ machine ] to said construction transmission fiber, and it multiplexes [ machine ] with signal light. In this invention, the excitation light source can solve the fault of the conventional technique in which two are required, according to wavelength.

[0014] Raman Feiba whose 4th invention is a thulium addition fiber and the gain medium of concentration Raman magnification, One wave of excitation light source, and the multiplexing machine which it multiplexes [ machine ] with signal light and carries out incidence of the excitation light from this excitation light source to said thulium addition fiber, It is characterized by having the splitter which separates spectrally the excitation light which carried out outgoing radiation from said thulium addition fiber with signal light, and the multiplexing machine incidence of the excitation light which carried out outgoing radiation from this

splitter is carried out [ machine ] to said Raman Feiba, and it multiplexes [ machine ] with signal light. In this invention, the excitation light source can solve the fault of the conventional technique in which two are required, according to wavelength.

[0015] Raman Feiba whose 5th invention is a thulium addition fiber and the gain medium of concentration Raman magnification, One wave of excitation light source, and the multiplexing machine which it multiplexes [ machine ] with signal light and carries out incidence of the excitation light from this excitation light source to said Raman Feiba, It is characterized by having the splitter which separates spectrally the excitation light which carried out outgoing radiation from said Raman Feiba with signal light, and the multiplexing machine incidence of the excitation light which carried out outgoing radiation from this splitter is carried out [ machine ] to said thulium addition fiber, and it multiplexes [ machine ] with signal light. In this invention, the excitation light source can solve the fault of the conventional technique in which two are required, according to wavelength.

[0016] 6th invention is characterized by having the excitation light source with the excitation light wave length same with the less than 1375nm excitation light source who excites a thulium addition fiber or Raman Feiba which is the gain medium of concentration Raman magnification, the construction transmission fiber which is the gain medium of distribution Raman magnification, and this construction transmission fiber, and larger excitation light wave length than 1405nm. In this invention, since excitation light wave length exists near the loss peak wavelength, loss of excitation light can solve the fault of the conventional technique in which it is large and excitation efficiency falls.

[0017] 7th invention is characterized by having the excitation light source with the excitation light wave length same with the less than 1375nm excitation light source who excites the construction transmission fiber which is the gain medium of distribution Raman magnification, Raman Feiba which is the gain medium of concentration Raman magnification, and this Raman Feiba, and larger excitation light wave length than 1405nm. In this invention, since said excitation light wave length exists near [ said ] the loss peak wavelength, loss of excitation light can solve the fault of the conventional technique in which it is large and excitation efficiency falls.

[0018] The construction transmission fiber which consists of a distributed shift fiber whose 8th invention is the gain medium of distribution Raman magnification, The multiplexing machine of signal light and excitation light, and the thulium addition fiber amplifier connected to the splitter of signal light, The erbium addition fiber amplifier or the Raman amplifier connected to this thulium addition fiber amplifier at juxtaposition at said splitter, Wavelength of one excitation light is characterized by having the two excitation light sources which excite said construction transmission fiber whose wavelength of 1350-1430nm and the excitation light of another side is 1430-1480nm. In this invention, in the zero-dispersion wavelength region of said construction distribution shift fiber, big distribution Raman gain occurs and there is an advantage that a big lightwave signal pair noise ratio is obtained.

[0019] 9th invention is characterized by the wavelength of said excitation light

being 1340-1460nm in any of the above 1 thru/or invention of five, or the optical fiber amplifier indicated to one.

[0020] The 1st Raman Feiba which installed the 10th invention in the preceding paragraph, and the 2nd Raman Feiba installed in the latter part, The 1st excitation light source which excites the thulium addition fiber installed in an intermediate stage, and said 1st Raman Feiba and whose wavelength is 1420-1460nm, It is characterized by having the 2nd excitation light source which excites said 2nd Raman Feiba and whose wavelength is 1420-1460nm, and the 3rd excitation light source which excites said thulium addition fiber. [0021] which can avoid degradation of a noise figure and signal optical output power by it since the gain of Raman Feiba fully compensates said loss in wavelength region about 1520nm or more with this invention 11th invention is characterized by having the 5th at least one of the excitation light source \*\*s whose excitation light wave length who excites the 4th excitation light source whose excitation light wave length who excites said 1st Raman Feiba is 1340-1500nm, and said 2nd Raman Feiba is 1340-1500nm in said 10th invention. In this invention, since the excitation light of the added short wavelength brings the Raman gain to the short wavelength region of said signal light, there is an advantage that gain of two Raman Feiba can be enlarged enough (for example, 7dB or more).

[0022] 12th invention is characterized by installing the multiplexing machine of the signal light for leading the excitation light which carried out outgoing radiation from said 4th excitation light source to said 1st Raman Feiba, and excitation light in the preceding paragraph of said 1st Raman Feiba in said 11th invention. In this invention, since the excitation light of the added short wavelength brings the Raman gain to the short wavelength region of said signal light, there is an advantage that gain of two Raman Feiba can be enlarged enough (for example, 7dB or more). Furthermore, in Raman Feiba of the preceding paragraph, since the excitation light of short wavelength has front excitation composition which carries out incidence to this Raman Feiba from front (the propagation direction where signal light and excitation light are the same in Raman Feiba, and becoming direction), it can aim at reduction of a noise figure more effectively compared with the case of that reverse back excitation.

[0023] The construction transmission fiber as a gain medium of the distribution Raman magnification which installed the 13th invention in the preceding paragraph, The 2nd Raman Feiba installed in the latter part, and the thulium addition fiber installed in an intermediate stage, It is characterized by having the 1st excitation light source which excites said construction transmission fiber and whose wavelength is 1420-1460nm, the 2nd excitation light source which excites said Raman Feiba and whose wavelength is 1420-1460nm, and the 3rd excitation light source which excites said thulium addition fiber. In this invention, the effectual noise figure of the optical fiber amplifier concerned can be reduced from the low noise nature of distribution Raman magnification. Especially the amount of reduction is large in the big wavelength region of distribution Raman gain, and degradation of the noise figure resulting from loss of a thulium addition fiber can be removed notably.



[0024]

[Embodiment of the Invention] Hereafter, the gestalt of operation of this invention is explained to a detail based on a drawing.

[0025] As shown in [gestalt of the 1st operation] drawing 1 (a), the optical fiber amplifier concerning this gestalt has the multiplexing machines 5 and 6 which multiplex the construction transmission fiber 1 which is the gain medium of distribution Raman magnification, the thulium addition fiber 2, one wave (this example 1410nm) of excitation light source 3, the splitter 4 that separates spectrally the excitation light from this excitation light source 3, and signal light and the excitation light outputted from said splitter 4.

[0026] Although the optical fiber amplifier concerning this gestalt is similar with the conventional technique shown in drawing 13 (a), the following points mainly differ. That is, with the configuration shown in drawing 13 (a), the excitation light wave length of a transmission fiber differs from the excitation light wave length of TDF clearly. Especially TDF is excited with two waves and cannot use clearly the excitation light wave length (1560nm) by the side of long wavelength for excitation of a transmission fiber.

[0027] On the other hand, with this gestalt, the excitation light wave length of the transmission fiber 1 and the excitation light wave length of the thulium addition fiber 2 are made the same. Here, the configuration of drawing 1 (a) carries out excitation light from the same excitation light source 3 with a splitter 4 for 2 minutes, and shows the configuration which excites the transmission fiber 1 and the thulium addition fiber 2. According to this configuration, in order that the expensive excitation light source 3 may end by one, there is an advantage that low-pricing of optical fiber amplifier can be realized. However, the transmission fiber 1 and the thulium addition fiber 2 may be excited by the respectively different excitation light source using the two excitation light sources of the same wavelength. At this time, the wavelength of the two excitation light sources should just be in the wavelength range of 1.4-micron excitation of the thulium addition fiber 2.

[0028] according to this gestalt, it is about a part of gain wavelength region of the Raman magnification in the transmission fiber 1, and gain wavelength region of the induced emission in the thulium addition fiber 2 -- it is -- it can be made all in agreement For example, the so-called S band (about 1480 to 1510 nm) can be made to generate the Raman gain of the transmission fiber 1, and the induced emission gain of the thulium addition fiber 2 by installing excitation light wave length near 1390nm.

[0029] Drawing 2 shows the example of the gain spectrum in the gestalt of implementation of the above 1st. At this time, excitation light wave length could be about 1420nm. TDFA gain, distribution Raman gain, and the comprehensive gain that are those sums are shown in this drawing. Although the Raman gain spectrum is greatly shifted depending on excitation light wave length, it seldom depends for a TDFA gain spectrum on excitation light wave length. Therefore, using the reverse property of the configurations of the Raman gain spectrum and a TDFA gain spectrum, as shown in drawing, a comprehensive gain band is expandable.



[0030] As shown in [gestalt of the 2nd operation] drawing 1 (b), the optical fiber amplifier concerning this gestalt has the multiplexing machines 15 and 16 which multiplex the thulium addition fiber 12, Raman Feiba 11 which is the gain medium of concentration Raman magnification, one wave of excitation light source 13, the splitter 14 which separates spectrally the excitation light from this excitation light source 13, and signal light and the excitation light outputted from said splitter 14.

[0031] Although the optical fiber amplifier concerning this gestalt is similar with the conventional technique shown in drawing 13 (c), the following points mainly differ. That is, with the configuration shown in drawing 13 (c), the excitation light wave length of Raman Feiba differs from the excitation light wave length of TDF clearly. Especially TDF is excited by 1060nm and cannot use excitation light of the wavelength region as the excitation light source for the Raman magnification of Raman Feiba.

[0032] On the other hand, with this gestalt, the excitation light wave length of the thulium addition fiber 12 and the excitation light wave length of Raman Feiba 11 are made the same. Here, like the configuration of drawing 1 (a), the configuration of drawing 1 (b) carries out excitation light from the same excitation light source 13 with a splitter 14 for 2 minutes, and shows the configuration which excites Raman Feiba 11 and the thulium addition fiber 12.

[0033] The description and advantage of a gain spectrum of this gestalt are the same as that of the gestalt of said 1st operation. However, since Raman Feiba 11 is the gain medium of intensive magnification, it needs to take into consideration the signal optical loss at the time of un-exciting [ of Raman Feiba ] on the Raman gain.

[0034] As shown in [gestalt of the 3rd operation] drawing 3 (a), the optical fiber amplifier concerning this gestalt The construction transmission fiber 21 which is the gain medium of distribution Raman magnification, and the thulium addition fiber 22, One wave of excitation light source 23, and the multiplexing machine 24 which it multiplexs [ machine ] with signal light and carries out incidence of the excitation light from this excitation light source 23 to said thulium addition fiber 22, It has the splitter 25 which separates spectrally the excitation light which carried out outgoing radiation from said thulium addition fiber 22 with signal light, and the multiplexing machine 26 incidence of the excitation light which carried out outgoing radiation from this splitter 25 is carried out [ machine ] to said construction transmission fiber 21, and it multiplexs [ machine ] with signal light.

[0035] Although the optical fiber amplifier concerning this gestalt is similar with the gestalt of the 1st operation, the following points mainly differ. That is, with the gestalt of the 1st operation, excitation light from the one excitation light source 3 is carried out with a splitter 4 for 2 minutes, it distributes to the transmission fiber 1 and the thulium addition fiber 2, and these are excited.

[0036] On the other hand, in this gestalt, the excitation light from the one excitation light source 23 is first introduced into the thulium addition fiber 22 using the multiplexing machine 24, and the thulium addition fiber 22 is excited by high excitation light power. And the excitation light which carried out outgoing radiation, without being absorbed with the thulium addition fiber 22 is introduced into the transmission fiber 21 using a splitter 25 and the multiplexing machine 26.

Consequently, although it is dependent on the operating condition of the thulium addition fiber 22, with the thulium addition fiber 22, excitation light runs at a high rate and the excitation light of a remarkable rate can be introduced into the transmission fiber 21 among the excitation light from the excitation light source 23. Therefore, according to this gestalt, there is an advantage of being able to excite the thulium addition fiber 22 by high excitation light power compared with the gestalt of the 1st operation. Of course, to the conventional technique, it has the same advantage as the gestalt of the 1st operation.

[0037] As shown in [gestalt of the 4th operation] drawing 3 (b), the optical fiber amplifier concerning this gestalt The thulium addition fiber 32 and Raman Feiba 31 which is the gain medium of concentration Raman magnification, One wave of excitation light source 33, and the multiplexing machine 34 which it multiplexes [ machine ] with signal light and carries out incidence of the excitation light from this excitation light source 33 to said Raman Feiba 31, It has the splitter 35 which separates spectrally the excitation light which carried out outgoing radiation from said Raman Feiba 31 with signal light, and the multiplexing machine 36 incidence of the excitation light which carried out outgoing radiation from this splitter 35 is carried out [ machine ] to said thulium addition fiber 32, and it multiplexes [ machine ] with signal light. Here, outgoing radiation of the signal light by which outgoing radiation was carried out is carried out outside through a circulator 37 from the thulium addition fiber 32. On the other hand, after being reflected by the mirror 38, and the signal light which penetrated the splitter 35 penetrating a splitter 35 again, carrying out incidence to Raman Feiba 31 and amplifying it again here, it penetrates the multiplexing machine 34 and outgoing radiation is carried out outside through a circulator 37.

[0038] Although the optical fiber amplifier concerning this gestalt is similar with the gestalt of the 2nd operation, the points of the following \*\* mainly differ. That is, with the gestalt of the 2nd operation, excitation light from the one excitation light source 13 is carried out with a splitter 14 for 2 minutes, it distributes to the thulium addition fiber 12 and Raman Feiba 11, and these are excited.

[0039] On the other hand, in this gestalt, the excitation light from the one excitation light source 33 is first introduced into Raman Feiba 31 using the multiplexing machine 34, and the Raman Feiba 31 is excited by high excitation light power. And the excitation light which carried out outgoing radiation, without being absorbed with Raman Feiba 31 is introduced into the thulium addition fiber 32 using a splitter 35 and the multiplexing machine 36. Consequently, although it is dependent on the class and use gestalt of Raman Feiba 31, since the value of the excitation optical loss of Raman Feiba 31 is 1-3dB, the excitation light of a quite high rate runs through Raman Feiba 31. Therefore, according to this gestalt, there is an advantage of being able to excite Raman Feiba 31 by high excitation light power compared with the gestalt of the 2nd operation. Of course, to the conventional technique, it has the same advantage as the gestalt of the 2nd operation.

[0040] In the gestalt of implementation of the above 4th, it is realized that the same is said of the configuration which replaced said Raman Feiba 31 and the thulium addition fiber 32.

[0041] As shown in [gestalt of the 5th operation] drawing 4 (a), the optical fiber amplifier concerning this gestalt The transmission fiber 41 which is the gain medium of distribution Raman magnification, and the thulium addition fiber 42, The excitation light source 43 to which the excitation light wave length who excites said transmission fiber 41 does outgoing radiation of the less than 1375nm excitation light (this gestalt 1370nm), It has the excitation light source 44 which carries out outgoing radiation of the same excitation [ than 1405nm ] light (this gestalt 1410nm) with larger excitation light wave length, and the excitation light source 45 which excites said thulium addition fiber 42. Here, the excitation light by which the excitation light by which outgoing radiation is carried out from the excitation light sources 43 and 44 is supplied to the transmission fiber 41 through the multiplexing machine 46, and outgoing radiation is carried out from the excitation light source 45 is supplied to the thulium addition fiber 42 through the multiplexing machine 47.

[0042] Although the optical fiber amplifier concerning this gestalt is similar with the conventional technique shown in drawing 13 (a), the following points mainly differ. That is, although the transmission fiber is excited with two waves, 1380nm and 1400nm, with the conventional technique, it is exciting with two waves, 1370nm and 1410nm, with this gestalt. That is, the excitation light wave length of the Raman magnification differs.

[0043] According to the loss spectral characteristics of the silica fiber shown in drawing 16 , with the conventional technique shown in drawing 13 (a), excitation light wave length is for 1375-1405nm which is the region near the absorption peak wavelength of an OH radical. Therefore, the loss factor to excitation light was large, and since fiber effective length became short, the excitation efficiency of the Raman magnification was small.

[0044] On the other hand, since excitation light wave length is installed in the outside of 1375-1405nm of said regions near the absorption peak wavelength with this gestalt, excitation efficiency is high. Moreover, there is no difference with the big gain spectrum in the conventional technique and this gestalt which are shown in drawing 13 (a) from the broadband nature of the Raman gain. Therefore, with this gestalt, there is an advantage that the excitation efficiency of the Raman magnification can be improved.

[0045] In the gestalt of implementation of the above 5th, it is realized that the same is said of the configuration which replaced said thulium addition fiber 42 and Raman Feiba which is the gain medium of concentration Raman magnification.

[0046] As shown in [gestalt of the 6th operation] drawing 4 (b), the optical fiber amplifier concerning this gestalt The transmission fiber 51 which is the gain medium of distribution Raman magnification, and Raman Feiba 52 which is the gain medium of concentration Raman magnification, The excitation light light source 53 to which the excitation light wave length who excites this Raman Feiba 52 does outgoing radiation of the less than 1375nm excitation light (this gestalt 1370nm), It has the excitation light source 54 which carries out outgoing radiation of the same excitation [ than 1405nm ] light (this gestalt 1410nm) with larger excitation light wave length, and the excitation light source 55 which excites said

transmission fiber 51. Here, the excitation light by which the excitation light by which outgoing radiation is carried out from the excitation light sources 53 and 54 is supplied to Raman Feiba 52 through the multiplexing machine 56, and outgoing radiation is carried out from the excitation light source 55 is supplied to the transmission fiber 51 through the multiplexing machine 57.

[0047] Although the optical fiber amplifier concerning this gestalt is similar with the conventional technique shown in drawing 13 (b), the following points mainly differ. That is, although Raman Feiba is excited with two waves, 1393nm and 1427nm, with the conventional technique, it is exciting with two waves, 1370nm and 1410nm, with this gestalt. That is, the excitation light wave length of the Raman magnification differs.

[0048] According to the loss spectral characteristics of the silica fiber shown in drawing 16, with the configuration shown in drawing 13 (b), 1393nm which is one of the excitation light wave length is for 1375-1405nm which is the region near the absorption peak wavelength of an OH radical. Therefore, the loss factor to excitation light was large, and since fiber effective length became short, the excitation efficiency of the Raman magnification was small.

[0049] On the other hand, since excitation light wave length is installed in the outside of 1375-1405nm of said regions near the absorption peak wavelength with this gestalt, excitation efficiency is high. Moreover, there is no difference with the big gain spectrum in the conventional technique and this gestalt which are shown in drawing 13 (b) from the broadband nature of the Raman gain. Therefore, with this gestalt, there is an advantage that the excitation efficiency of the Raman magnification can be improved.

[0050] As shown in [gestalt of the 7th operation] drawing 5, the optical fiber amplifier concerning this gestalt The transmission fiber 61 which consists of a distributed shift fiber which is the gain medium of distribution Raman magnification, The thulium addition fiber amplifier 64 connected to the multiplexing machine 62 and splitter 63 of signal light, The erbium addition fiber amplifier 65 connected to this thulium addition fiber amplifier 64 at juxtaposition at said splitter 63, The multiplexing machine 66 which multiplexes the outgoing radiation light of said thulium addition fiber amplifier 64 and the erbium addition fiber amplifier 65, The wavelength of one excitation light has the two excitation light sources 67 and 68 which excite said transmission fiber 61 whose wavelength of 1350-1430nm (this gestalt 1410nm) and the excitation light of another side is 1430-1480nm (this gestalt 1440nm).

[0051] Although the optical fiber amplifier concerning this gestalt is similar with the configuration of the conventional technique shown in drawing 14, the following points mainly differ. That is, although the transmission fiber is excited with two waves, 1380nm and 1400nm, with the conventional technique shown in drawing 14, it is exciting with two waves, 1410nm and 1440nm, with this gestalt. Here, a transmission fiber is a distributed compensation fiber. That is, with the gestalt of the conventional technique and this operation, the excitation light wave length of the Raman magnification differs. Consequently, in about 1550nm which is the zero-dispersion wavelength region of a distributed compensation fiber, the

Raman gain is small like the spectrum in the gestalt of operation of the 1st of this invention shown in drawing 2 with the configuration of the conventional technique. [0052] As this gestalt shows to drawing 6 on the other hand, in said zero-dispersion wavelength region, the Raman gain is large by the Raman magnification using 1440nm excitation light. Therefore, there is an advantage that a big lightwave signal pair noise ratio is obtained in said zero-dispersion wavelength region by big distribution Raman gain.

[0053] [Gestalt of the 8th operation] drawing 7 shows the configuration of the optical fiber amplifier concerning the gestalt of operation of the 8th of this invention. Although this gestalt is similar with the gestalt of said 7th operation as shown in this drawing, the following points mainly differ. That is, although it stands in a row with the thulium addition fiber amplifier 64 and the erbium addition fiber amplifier 65 is used with the gestalt of the 7th operation, with this gestalt, it stands in a row with the thulium addition fiber amplifier 64, and the Raman amplifier 75 is used. In addition, the same number is given to the same part as drawing 5 among drawing 7, and the overlapping explanation is omitted.

[0054] The gain spectral characteristics in this gestalt are shown in drawing 8. With the gestalt of the 7th operation, although the bottom of a left shoulder needs to make \*\* EDFA gain 1550nm or less to wavelength, such a spectrum setup has the fault that effectiveness is bad, from the reasons of using the big gain equalizer of loss.

[0055] On the other hand, with this gestalt, although the bottom of a left shoulder needs to make \*\* Raman gain 1550nm or less to wavelength, such a spectrum setup has the advantage of being easy, from the spectral characteristics of the Raman gain.

[0056] As shown in [gestalt of the 9th operation] drawing 9, the optical fiber amplifier concerning this gestalt Raman Feiba 81 installed in the preceding paragraph, and Raman Feiba 83 installed in the latter part, The thulium addition fiber 82 installed in the middle, and the excitation light source 84 whose wavelength which excites said Raman Feiba 81 is 1420-1460nm, It has the excitation light source 86 whose wavelength which excites said Raman Feiba 83 is 1420-1460nm, and the excitation light source 85 which excites said thulium addition fiber 82. In addition, 87, 88, and 89 are multiplexing machines among drawing.

[0057] Although this gestalt is similar to the conventional technique of drawing 13 (c), and the gestalt of operation of the 2nd of drawing 1 (b), the following points mainly differ. That is, the optical fiber amplifier of this gestalt has two Raman Feiba 81 and 83 and one thulium addition fiber (TDF) 82. With said conventional technique and the gestalt of the 2nd operation, Raman Feiba 11 was one. Moreover, with this gestalt, the excitation light wave length to Raman Feiba 81 and 83 is set to about 1420nm or more and about 1460nm or less. For example, in drawing 9, the excitation light wave length is 1440nm. Drawing 10 shows the example of a gain spectrum acquired with this gestalt.

[0058] Since the upper limit of the gain wavelength region of TDF is about 1520nm, by the long wavelength side, TDF does loss resulting from ground level

absorption to signal light from it. So, with the conventional technique shown in drawing 13 (c), the excitation light wave length to Raman Feiba could be about 1415nm or less. For this reason, the gain wavelength region of optical fiber amplifier had the fault of being restricted to about 1510nm or less. Moreover, when the excitation light wave length to Raman Feiba 11 is set to about 1415nm or more with the gestalt of the 2nd operation and TDF12 is stationed for Raman Feiba 11 in the latter part in the preceding paragraph, there is a fault that a noise figure deteriorates in wavelength region about 1520nm or more. Moreover, similarly, when TDF12 is stationed for Raman Feiba 11 in the latter part in the preceding paragraph, there is a fault that signal optical output power deteriorates in wavelength region about 1520nm or more.

[0059] On the other hand, with this gestalt, in order that the gain of Raman Feiba 83 may fully compensate said loss in wavelength region about 1520nm or more, there is an advantage that degradation of the above noise figures and signal optical output power is avoidable. The example of a type of about 5dB and said Raman Feiba gain of the example of a type of said loss is about 20dB on the wavelength of 1540nm in the wavelength of 1540nm.

[0060] Therefore, with the conventional technique and the gestalt of the 2nd operation, there is an advantage that the upper limit is expandable to about 1560nm, by this gestalt to the upper limit of the signal light wave length by whom a low noise figure and high signal optical output power are got being about 1510nm. About 1560nm of upper limits of said signal light wave length is decided by about 1460nm of upper limits of excitation light wave length over said Raman Feiba 81 and 83. The reason is because the peak wavelength of the Raman gain by 1460nm excitation light is about 1560nm. In the example of a gain spectrum shown in drawing 10, flat gain is acquired in about 80nm extensive wavelength region of 1460 to 1540 nm.

[0061] As shown in [gestalt of the 10th operation] drawing 11, the optical fiber amplifier concerning this gestalt Raman Feiba 91 installed in the preceding paragraph, and Raman Feiba 93 installed in the latter part, The thulium addition fiber 92 installed in the middle, and the excitation light source 94 whose wavelength which excites said Raman Feiba 91 is 1420-1460nm, The excitation light source 96 whose wavelength which excites said Raman Feiba 93 is 1420-1460nm, The excitation light source 100 whose excitation light wave length who excites said Raman Feiba 91 it not only has the excitation light source 95 which excites said thulium addition fiber 92, but is 1340-1500nm, The excitation light wave length who excites said Raman Feiba 93 has the excitation light source 96 which is 1340-1500nm. In addition, 97, 98, and 99,102,103 are multiplexing machines among drawing.

[0062] Although this gestalt is similar with the gestalt of said 9th operation, the following points mainly differ. That is, although the number of both the excitation light wave length of Raman Feiba 81 and 83 is one with the gestalt of the 9th operation (1440nm), they may be two waves (1380nm and 1440nm) with this gestalt. With the gestalt of the 9th operation, since the gain of Raman Feiba 81 and 83 is not sufficiently large (for example, 3dB or less), there is a fault that

degradation of a noise figure and signal optical output power will arise in the short wavelength region in a short wavelength region (for example, 1470nm or less).

[0063] On the other hand, with this gestalt, since the excitation light of the added short wavelength brings the Raman gain to the short wavelength region of said signal light, there is an advantage that gain of Raman Feiba 91 and 93 can be enlarged enough (for example, 7dB or more). Moreover, especially, in Raman Feiba 91, since the excitation light of short wavelength has front excitation composition which carries out incidence to Raman Feiba 91 from front (the propagation direction where signal light and excitation light are the same in Raman Feiba 91, and becoming direction), it can aim at reduction of a noise figure more effectively compared with the case of the reverse back excitation. If the wavelength of the excitation light of said short wavelength is 1340-1500nm, it can expect the above-mentioned effectiveness and is effective.

[0064] As shown in [gestalt of the 11th operation] drawing 12, the optical fiber amplifier concerning this gestalt The construction transmission fiber 111 as a gain medium of distribution Raman magnification installed in the preceding paragraph, Raman Feiba 113 installed in the latter part, and the thulium addition fiber 112 installed in an intermediate stage, It has the excitation light source 114 whose wavelength which excites said construction transmission fiber 111 is 1420-1460nm, the excitation light source 116 which excites said Raman Feiba 113 and whose wavelength is 1420-1460nm, and the excitation light source 115 which excites said thulium addition fiber 112. In addition, 117,118,119 are a multiplexing machine among drawing.

[0065] Drawing 12 shows the configuration of the optical fiber amplifier concerning the gestalt of operation of the 11th of this invention. Although this gestalt is similar with the gestalt of said 9th operation, the following points mainly differ. That is, although two Raman Feiba 81 and 83 is used as a gain medium of the Raman magnification with the gestalt of the 9th operation, with this gestalt, one Raman Feiba 113 is installed in the output side of an optical fiber amplifier, and the construction transmission fiber 111 of the preceding paragraph of the thulium addition fiber 112 is used as the gain medium of distribution Raman magnification.

[0066] Consequently, the effectual noise figure of the optical fiber amplifier concerning this gestalt can be reduced from the low noise nature of distribution Raman magnification. Especially the amount of reduction has the advantage that it is large in the big wavelength region of distribution Raman gain, and degradation of the noise figure resulting from the above and loss of TDF111 can be removed notably.

[0067]

[Effect of the Invention] As stated above, according to the example of this invention, it was a problem with the conventional technique. The fault that the gain wavelength region is restricted and it is narrow, and the fault that the two excitation light sources are required according to wavelength, Since the fault that loss of excitation light is large and excitation efficiency falls, and intensive magnification mold Raman amplifier are used, the fault that a noise is loud, and the fault that the two excitation light sources are still more nearly required, and the two excitation



light sources are required according to wavelength are solvable.

[Translation done.]

**\* NOTICES \***

JPO and NCIP are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

**DESCRIPTION OF DRAWINGS**

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] It is the block diagram showing the configuration of the optical fiber amplifier concerning the gestalt of operation of this invention, and they are the gestalt of the 1st operation of (a), and the gestalt of the 2nd operation of (b).

[Drawing 2] the optical fiber amplifier concerning the gestalt of the 1st operation shown in drawing 1 -- it is the graph which shows the gain spectrum to kick.

[Drawing 3] It is the block diagram showing the configuration of the optical fiber amplifier concerning the gestalt of operation of this invention, and they are the gestalt of the 3rd operation of (a), and the gestalt of the 4th operation of (b).

[Drawing 4] It is the block diagram showing the configuration of the optical fiber amplifier concerning the gestalt of operation of this invention, and they are the gestalt of the 5th operation of (a), and the gestalt of the 6th operation of (b).

[Drawing 5] It is the block diagram showing the configuration of the optical fiber amplifier concerning the gestalt of operation of the 7th of this invention.

[Drawing 6] the optical fiber amplifier concerning the gestalt of the 7th operation shown in drawing 5 -- it is the graph which shows the gain spectrum to kick.

[Drawing 7] It is the block diagram showing the configuration of the optical fiber amplifier concerning the gestalt of operation of the 8th of this invention.

[Drawing 8] the optical fiber amplifier concerning the gestalt of the 8th operation shown in drawing 7 -- it is the graph which shows the gain spectrum to kick.

[Drawing 9] It is the block diagram showing the configuration of the optical fiber amplifier concerning the gestalt of operation of the 9th of this invention.

[Drawing 10] the optical fiber amplifier concerning the gestalt of the 9th operation shown in drawing 9 -- it is the graph which shows the gain spectrum to kick.

[Drawing 11] It is the block diagram showing the configuration of the optical fiber amplifier concerning the gestalt of operation of the 10th of this invention.

[Drawing 12] It is the block diagram showing the configuration of the optical fiber amplifier concerning the gestalt of operation of the 11th of this invention.

[Drawing 13] It is the block diagram showing the 1st thru/or the 3rd configuration of each optical fiber amplifier concerning the conventional technique.

[Drawing 14] It is the block diagram showing the 4th configuration of each optical



fiber amplifier concerning the conventional technique.

[Drawing 15] It is the graph which shows the gain spectrum in the optical fiber amplifier concerning the conventional technique, and the 1st configuration which shows (a) to drawing 13 (a), and (b) correspond to the 2nd configuration shown in drawing 13 (b).

[Drawing 16] It is the graph which shows the loss spectrum of a silica fiber.

[Description of Notations]

1, 21, 41, 51, 61, 111 Transmission fiber

2, 12, 22, 32, 42, 82, 92, 102 Thulium addition fiber

3, 13, 23, 33, 43, 44, 45, 53, 54, 55, 67, 68, 84, 85, 86, 94, 95, 96, 100,

101, 114, 115, 116 Excitation light source

11, 31, 52, 81, 83, 91, 93, 113 Raman Feiba

64 Thulium Addition Fiber Amplifier

65 Erbium Addition Fiber Amplifier

75 Raman Amplifier

[Translation done.]

\* NOTICES \*

JPO and NCIP are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.

3. In the drawings, any words are not translated.

## DRAWINGS

[Drawing 1]

[Drawing 2]

[Drawing 5]

[Drawing 3]

[Drawing 4]

[Drawing 6]

[Drawing 7]

[Drawing 8]

[Drawing 9]

[Drawing 10]

[Drawing 11]

[Drawing 12]

[Drawing 13]

[Drawing 14]

[Drawing 15]

[Drawing 16]

[Translation done.]